

CONSIDERATIONS SUR L'ACCUMULATION DU ZINC PAR LES PLANTES POUSSANT SUR SOLS CALAMINAIRES

PAR

S. DENAEYER-DE SMET

Chef de Travaux à l'Université Libre de Bruxelles

1. INTRODUCTION

Les plantes établies dans les biotopes riches en zinc attirent botanistes et chimistes depuis fort longtemps.

Les premières analyses de zinc dans les plantes, effectuées par JENSCH en 1894, montrent déjà que des espèces rudérales (*Tussilago farfara* et *Polygonum aviculare*) colonisant les terrils zincifères (Haute-Silésie), contiennent, dans tous leurs organes, des quantités anormalement élevées de zinc.

En 1908, JAVILLIER signale, chez des espèces calaminaires récoltées à Moresnet (Belgique), des teneurs en zinc exceptionnellement élevées, pouvant atteindre plusieurs milliers de ppm, en particulier dans les racines.

Depuis lors, divers travaux ont été consacrés aux principaux sites calaminaires d'Europe occidentale (SCHWICKERATH 1931, JACQUEMART 1958, MAQUINAY et RAMAUT 1960, ERNST 1965).

La présente note concerne la comparaison de l'absorption du zinc par les plantes poussant sur sol calaminaire (zincophytes ou zincovagues) et par les mêmes espèces ou espèces voisines (dans le cas des zincophytes) poussant sur sol normal. Pour une des espèces zincophytes, *Armeria* cf *halleri*, des comparaisons ont été effectuées avec des individus calaminaires transplantés sur sol normal.

Les polyéléments K, Ca, Mg, N, S et P ont été étudiés en même temps que le zinc mais feront l'objet d'une publication ultérieure.

2. SITES ETUDIÉS

Les récoltes de plantes calaminaires et des sols correspondants ont été effectuées dans les biotopes suivants :

- Plombières (Belgique) : vaste zone plate de déchets de l'industrie du plomb, portant une pelouse calaminaire riche en *Armeria cf halleri*, en partie convertie en bosquet peu élevé de *Quercus robur*, *Betula verrucosa* et *Salix caprea*; sol squelettique noir, pauvre en carbonates (2,7 % CO_3).
pH = 6,8; Zn total = 25.000 ppm.
- La Calamine (Belgique) : ancien terril de résidus de lavage de « schlamm » calaminaire; 8 % de carbonates (CO_3).
L'écologie de ce site a été étudiée en détail par JACQUEMART (1958).
pH = 6,8; Zn total = 25.000 ppm.
- Prayon (Belgique) : prairie à *Agrostis tenuis* remplaçant une forêt de *Quercus*, dans un paysage vallonné, empoisonné par des retombées d'usines; pas de carbonates.
pH = 6,1; Zn total = 3.200 ppm.
- Breiniger Berg (Allemagne) : pelouse sur terre en place, roche-mère calaminaire; riche en carbonates (25 % CO_3).
pH = 7,6; Zn total = 46.000 ppm.

Des récoltes d'individus « témoins », poussant sur sol normal, ont été effectuées dans divers biotopes de Haute-Belgique et dans un biotope halotrophe de France (Falaises maritimes à Wimereux, Pas-de-Calais).

3. TECHNIQUES UTILISEES

a. Prélèvement de plantes

Un lot de feuilles (environ 100 g frais) a été prélevé dans chacun des biotopes étudiés; dans certains d'entre eux, des prélèvements de tiges, hampes florales et racines ont également été effectués.

La propreté du matériel frais est vérifiée (lavage rapide mais complet des racines par jet d'eau distillée). Le matériel végétal est séché, le plus rapidement possible après la récolte, dans une étuve ventilée (85 °C). Il est ensuite pulvérisé dans un moulin à couteaux et conservé en flacons bouchés.

Le zinc est dosé par spectrophotométrie de l'absorption atomique (spectrophotomètre Perkin Elmer 303), après incinération par voie sèche à 450 °C, dissolution des cendres dans HNO_3 0,1 N et élimination de la silice par filtration.

b. Prélèvement de sols

En raison de l'hétérogénéité fréquente du substrat, les échantillons de sols concernant un même biotope ont été prélevés à 3 endroits distincts et réunis en 1 échantillon unique destiné à l'analyse. Le zinc, extrait par ébullition dans HCl 50 %, a été analysé de la même manière que dans la solution de cendres végétales.

c. Transplantations

Des populations de 50 individus d'*Armeria cf halleri* ont été prélevées dans plusieurs biotopes calaminaires et transplantées, pour étude biosystématique, sur terre limono-argileuse normale, au Jardin Expérimental Jean Massart à Auderghem - Bruxelles. Ces populations y prospèrent et ont pu fournir du matériel pour analyse chimique et des graines pour semis et repiquages ultérieurs sur sols artificiellement enrichis en zinc.

4. ACCUMULATION DU ZINC CHEZ LES PLANTES ZINCICOLES

a. La fig. 1 montre à quel point des plantes établies dans le même biotope calaminaire mais appartenant à des espèces distinctes peuvent réagir de manière différente à la présence de quantités anormalement élevées de zinc dans le sol.

Parmi les zincophytes obligatoires (espèces dites « calaminaires ») *Thlaspi sylvestre ssp calaminare* se distingue par un pouvoir d'accumulation nettement supérieur à celui des autres espèces; il accumule dans ses feuilles environ 10 fois plus (15.700 ppm) de zinc que les autres zincophytes poussant à ses côtés. Parmi ceux-ci, *Silene cucubalus*, var. *humilis*, *Viola calaminaria* et *Armeria cf halleri* (tabl. 3) accumulent également du zinc dans leurs feuilles mais les teneurs et les différences spécifiques sont moins importantes (de 700 à 1.800 ppm).

Si l'on compare la teneur en zinc d'espèces voisines des zincophytes et poussant sur sol normal, on constate que les mêmes différences spécifiques subsistent. *Thlaspi montanum* contient 3 à 4 fois plus de zinc que *Silene nutans* ou *Viola reichenbachiana*.

b. Des espèces arbustives, telles *Salix caprea*, *Populus tremula*, *Betula verrucosa* et *Quercus robur*, que l'on ne rencontre qu'accidentellement sur sol très riche en zinc (zincovagues) et qui, à Plombières, forment des bosquets fermés, peuvent aussi réagir d'une manière très différente à la présence de zinc dans le sol : certaines d'entre elles, *Salix caprea*, *Populus tremula* et *Betula verrucosa*, accumulent dans leurs feuilles des quantités de zinc aussi élevées (de l'ordre de 1.300 ppm) que celles accumulées par les zincophytes obligatoires (à l'exception de *Thlaspi calaminare*, bien entendu); par contre, *Quercus robur* paraît opposer un freinage énergique à la pénétration de l'élément toxique dans ses feuilles (169 ppm).

Rappelons ici que si les zincophytes obligatoires supportent apparemment bien la toxicité du substrat, il n'en est pas de même en ce qui concerne les espèces arbustives zincovagues qui présentent fréquemment des symptômes d'intoxication (petites taches jaunes, chloroses interveinales).

D'après l'analyse effectuée pour l'une d'entre elles (*Salix*), les feuilles chlorosées ne paraissent toutefois pas plus riches en zinc que les feuilles vertes (tabl. 2).

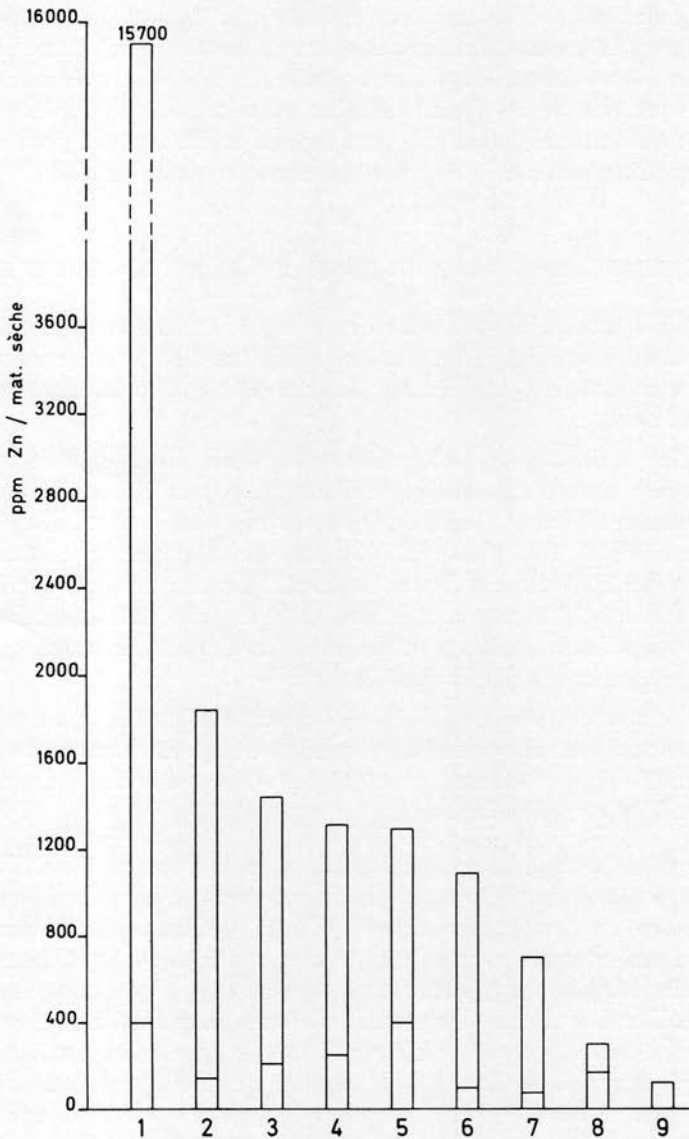


Fig. 1. — Teneur en Zn foliaire de diverses espèces récoltées dans un même biotope calaminaire, à Plombières (août 1966).

1. *Thlaspi sylvestre*, ssp. *calaminare*; 2. *Silene cucubalus*, var. *humilis*; 3. *Salix caprea*; 4. *Populus tremula*; 5. *Betula verrucosa*; 6. *Viola calaminaria*; 7. *Armeria* cf. *halleri*; 8. *Agrostis tenuis*; 9. *Quercus robur*; dans chaque colonne, le trait horizontal indique les teneurs en Zn sur sol normal.

La comparaison de la teneur en zinc foliaire de ces espèces, poussant dans leurs biotopes normaux (tabl. 2) illustre à nouveau la spécificité de la teneur en zinc : comme sur sol calaminaire, *Quercus robur* est, sur sol normal, nettement plus pauvre (20 ppm Zn) que les autres espèces d'arbres (200 à 400 ppm Zn).

c. *Agrostis tenuis*, colonisatrice fidèle des terrils riches en zinc (ou en autres métaux lourds), semble résister à la toxicité du milieu en freinant la pénétration du zinc dans ses feuilles. En effet, la teneur en cet élément de plantes récoltées à Plombières (25.000 ppm Zn dans le sol) n'atteint pas le double de la valeur sur sol normal (tabl. 1).

Teucrium scorodonia, autre espèce zincovague, n'accumule que peu de zinc lorsqu'elle arrive à pousser sur sol hautement zincifère, comme au Breiniger Berg par exemple (tabl. 2).

d. L'accumulation du zinc varie en fonction de la nature des organes. Chez *Armeria cf halleri* par exemple, c'est dans les racines que l'accumulation est la plus forte (de l'ordre de 3.000 ppm, soit en moyenne 5 fois plus que dans les feuilles), et dans les hampes florales et inflorescences qu'elle est la plus faible.

Chez *Silene cucubalus*, les phénomènes sont moins nets et peut-être sous la dépendance du cycle de végétation.

e. Malgré l'influence que peut exercer la richesse en zinc du sol, ou son pH (ERNST 1965, DENAEYER-DE SMET non publié) sur la teneur en zinc foliaire d'une même espèce, il apparaît que, dans certains cas du moins, les différences importantes observées dans l'accumulation de zinc par les plantes calaminaires peuvent être considérées comme des caractères spécifiques au même titre que certains caractères taxonomiques.

Thlaspi calaminare apparaît comme particulièrement sensible à la présence de zinc dans le sol et tolère dans ses organes aériens des quantités très élevées de ce métal : par exemple, la teneur en zinc foliaire d'individus de cette espèce (tabl. 1) récoltés à Prayon, dans une prairie contaminée par les retombées d'usines proches, mais à sol néanmoins beaucoup moins riche en zinc que celui des biotopes calaminaires, est aussi élevée (14.600 ppm) que dans ces derniers. Les résultats obtenus par MAQUINAY et RAMAUT et par ERNST confirment ce caractère.

Le pouvoir d'accumulation assez élevé de *Silene cucubalus* paraît également confirmé par les données de la littérature et nos propres observations.

Les résultats obtenus pour *Minuartia verna* ssp. *hercynica* (3.400 ppm) rejoignent assez bien ceux de ERNST mais s'éloignent des valeurs données par MAQUINAY et RAMAUT (11.500 ppm) et nécessiteraient des analyses supplémentaires.

L'indice que des analyses de contrôle devraient être effectuées, apparaît aussi dans le manque de concordance entre nos résultats concernant *Armeria cf halleri* et ceux des auteurs précités. En effet, d'après ces der-

niers, cette espèce accumulerait dans ses feuilles des quantités de zinc nettement supérieures (2.000 à 6.000 ppm) à celles que nous indiquons au tableau 3 (500 à 600 ppm). Par contre, en prenant pour la teneur en cendres une valeur moyenne de 10 % de la matière sèche, on peut calculer que la valeur obtenue par JACQUEMART (1958) sur des *Armeria* de La Calamine (cet auteur ne donne que le % de Zn dans les cendres) est de 680 ppm, c'est-à-dire fort voisine des nôtres.

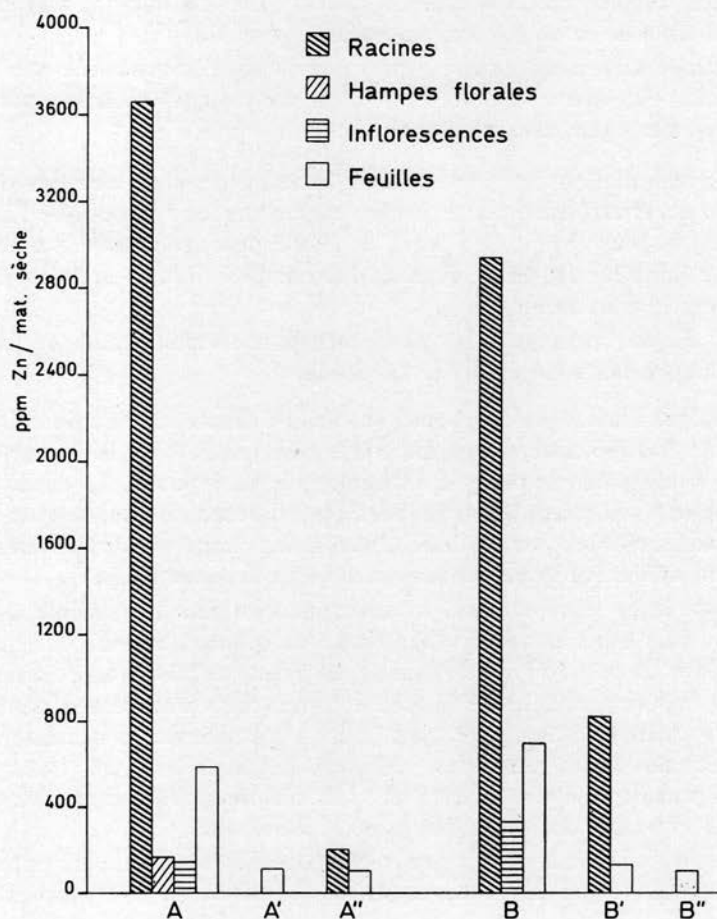


Fig. 2. — Teneur en Zn des divers organes d'*Armeria cf. halleri*

- A. Sur sol calaminaire, au Breiniger Berg (Allemagne).
 A'. Sur sol normal, à Bruxelles, 1 an après transplantation.
 A''. Idem, 3 ans après transplantation.
 B. Sur sol calaminaire, à Plombières (Belgique).
 B'. Sur sol normal à Bruxelles, 1 an après transplantation.
 B''. Idem, 3 ans après transplantation.

L'accumulation racinaire du zinc que nous avons observée dans deux biotopes calaminaires différents, ne semble pas exister chez les individus analysés par ERNST. Au contraire, d'après cet auteur, la teneur en zinc des racines serait inférieure à celle des feuilles (respectivement 1.180 à 1.700 ppm et 2.030 ppm, pour des individus récoltés au Breiniger Berg).

f. Influence de la transplantation sur la teneur en zinc de *Armeria cf halleri* (Tabl. 3).

1) La transplantation, sur sol normal, d'individus calaminaires, modifie rapidement leur teneur en zinc. En effet, un an à peine après la transplantation, la teneur en zinc foliaire est nettement plus basse; après trois ans de séjour en sol normal, cette teneur est voisine de celle d'individus d'*Armeria maritima* récoltés sur sol non zincifère mais salé des falaises maritimes de Wimereux (Pas-de-Calais) et transplantés sur sol normal.

L'accumulation du zinc dans les racines subsiste mais s'atténue fortement au cours des ans; en effet, les racines prélevées un an après transplantation contiennent encore six fois plus de zinc que les feuilles correspondantes, alors que deux ans plus tard, le rapport teneur en zinc racinaire/zinc foliaire n'est plus que de trois.

2) La présence, dans le sol, de quantités anormales mais relativement peu élevées de zinc (800 à 1.000 ppm) entraîne très rapidement une augmentation de la teneur en zinc foliaire des individus.

Le tabl. 3 résume les résultats obtenus pour des individus poussant sur sol artificiellement enrichi en zinc. Les teneurs en zinc foliaire d'individus issus de graines récoltées dans un biotope calaminaire sont analogues à celles obtenues pour des individus issus de graines récoltées au Jardin Expérimental, en provenance d'individus calaminaires transplantés.

5. RESUME ET CONCLUSIONS

Toutes les espèces calaminaires sont des accumulatrices de zinc, mais à des degrés divers et par des mécanismes probablement différents suivant les espèces. Certaines d'entre elles sont adaptées à tolérer dans leurs organes aériens, des quantités très élevées de l'élément toxique (de l'ordre de 0,1 à 1,5 %); d'autres au contraire, semblent résister à la toxicité du milieu en accumulant plus de zinc dans leurs organes souterrains (de l'ordre de 0,3 %) que dans leurs feuilles (0,05 à 0,06 %).

Des arbustes peu fréquents sur calamine, comme par exemple *Betula verrucosa*, *Populus tremula*, *Salix caprea*, accumulent, sur ce milieu spécial auquel ils sont mal adaptés, des quantités de zinc semblables à celles que l'on trouve chez certaines zincophytes; mais, contrairement à ces dernières, ces espèces zincovagues supportent mal l'accumulation de zinc dans leurs feuilles et manifestent de nombreux symptômes d'intoxication.

Chez *Armeria cf halleri*, la transplantation, sur sol normal, d'individus prélevés dans des biotopes calaminaires entraîne une diminution rapide

de leur teneur en zinc. Le développement de ces individus transplantés s'effectue d'une manière tout à fait normale et indique donc que *Armeria cf halleri* n'a pas « besoin » de quantités élevées de zinc pour assurer son bon fonctionnement.

Ce travail a été réalisé en partie grâce à un « crédit aux chercheurs » qui nous a été alloué par le Fonds National de la Recherche Scientifique.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à Monsieur ADRIAENS, Directeur de l'Institut de recherches chimiques du Ministère de l'Agriculture et à Monsieur HERMAN, Chef de section au même Institut, qui ont bien voulu mettre à notre disposition le spectrophotomètre d'absorption atomique de leur laboratoire.

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES.
JARDIN EXPÉRIMENTAL JEAN MASSART.
DIR. : PROF. P. DUVIGNEAUD.
BRUXELLES.
1850 CHAUSSÉE DE WAVRE.

TABLEAU 1

Teneurs en Zn des principales espèces herbacées récoltées dans divers biotopes riches en Zn. Comparaison avec la teneur en Zn de ces mêmes espèces ou espèces voisines récoltées sur sol normal *. Pour *Armeria* cf *halleri*, voir tableau 3.
fe = feuilles; o. a. = organes aériens; t = tiges; r = racines; f = fleurs.

Espèces	Localité	Date de récolte	ppm Zn total sol	Organes analysés	% cendres mat. sèche	ppm Zn mat. sèche
<i>Thlaspi sylvestre</i> subsp. <i>calaminare</i> ...	Plombières	VIII-68	25.000	fe.	16,5	15.700
	Prayon	VI-69	3.200	fe.	13,5	14.600
<i>Thlaspi montanum</i> *	Han-sur-Lesse	V-69	—	fe.	11,3	400
<i>Minuartia verna</i> ssp. <i>hercynica</i>	La Calamine	VIII-66	23.000	o. a.	12,0	3.400
<i>Silene cucubalus</i> var. <i>humilis</i>	Plombières	VIII-66	25.000	fe.	17,0	1.860
				t.	8,6	912
				r.	4,5	1.890
	La Calamine	VIII-66	23.000	fe.	16,4	825
				t.	9,3	700
				r.	4,4	1.170
		VI-69	—	fe.	16,0	1.850
				r.	4,5	1.430
	Breiniger Berg	VIII-66	46.000	fe.	18,6	760
				t.	8,4	412
				r.	5,4	1.235
<i>Silene nutans</i> *	Rouillon	VI-62	—	fe.	12,0	151
				t.	5,2	39
				r.	7,1	77
<i>Viola calaminaria</i>	Plombières	VIII-66	25.000	fe.	9,0	1.080
	Breiniger Berg	VIII-66	46.000	fe.	11,6	772
<i>Viola reichenbachiana</i> *	Virelles	VI-64	210	fe.	14,2	109
	Ferage	V-64	180	fe.	13,2	203
<i>Teucrium scorodonia</i>	Breiniger Berg	VIII-66	46.000	fe.	9,3	360
				r.	3,6	687
<i>Teucrium scorodonia</i> *	Villers-sur-Lesse	VI-64	—	fe.	7,3	125
<i>Agrostis tenuis</i>	Plombières	VIII-66	25.000	o. a.	9,6	300
<i>Agrostis tenuis</i> *	Auderghem-Bruxelles	X-68	87	o. a.	14,2	176

TABLEAU 2

Comparaison du Zn foliaire chez diverses espèces d'arbres établies sur sol calaminaire (Plombières) et sur sol normal*.

Espèces	Localité	Date de récolte	% cendres matière sèche	ppm Zn matière sèche
<i>Salix caprea</i>	Plombières	VIII-66	9,4 (a)	1.439 (a)
			10,1 (b)	1.400 (b)
<i>Salix caprea</i>	Wavreille* (1)	VIII-65	6,8	176
<i>Betula verrucosa</i>	Plombières	VIII-66	6,2	1.285
			Vonêche* (2)	IV-64
<i>Populus tremula</i>	Plombières	VIII-66	8,4	1.313
			Mesnil-St-Blaise* (3)	VI-61
<i>Quercus robur</i>	Plombières	VIII-66	5,6	169
			Virelles* (4)	VII-67

(1) Wavreille : chênaie-frênaie.

(2) Vonêche : hêtraie-chênaie à Bouleaux.

(3) Mesnil-St-Blaise : chênaie à Charmes.

(4) Virelles : chênaie mélangée calcicole.

(a) Feuilles vertes.

(b) Feuilles chlorosées.

TABLEAU 3

Comparaison de la teneur en Zn foliaire d'*Armeria cf halleri* sur sol calaminaire, sur sol normal et sur sol enrichi artificiellement en Zn. Teneur en Zn foliaire de *Armeria maritima*.

	Date de récolte	ppm Zn total	Organes analysés	% cendres mat. sèche	ppm Zn mat. sèche
<i>Armeria cf halleri</i>					
Individus récoltés sur sol calaminaire à Plombières	VIII-66	25.000	fe. inf. rac.	9,2 6,1 7,2	690 330 2.940
Idem, récoltés en 1967 et transplantés sur sol normal au Jardin expérimental:					
1 an après transplantation	X-68	87	fe. rac.	10,8 8,0	142 831
Idem, récoltés en 1965 et transplantés sur sol normal au Jardin expérimental:					
3 ans après transplantation	X-68	87	fe.	11,7	101
Individus récoltés sur sol calaminaire à Breiniger Berg					
	VIII-66	46.000	fe. h.f. inf. rac.	9,9 6,7 5,6 8,5	520 172 140 3.660
Idem, récoltés en 1967 et transplantés sur sol normal au Jardin expérimental:					
1 an après transplantation	X-68	87	fe.	16,7	113

TABLEAU 3 (suite)

	Date de récolte	ppm Zn total	Organes analysés	% cendres mat. sèche	ppm Zn mat. sèche
Idem, récoltés en 1965 et transplantés sur sol normal au Jardin expérimental :					
3 ans après transplantation	X-68	87	fe. rac.	10,6 8,1	79 211
Individus issus de graines récoltées à La Calamine et mises à germer sur sol normal au Jardin expérimental, plantules repiquées sur sol artificiellement enrichi en Zn	XII-68	800	fe.	9,5	360
Individus issus de graines récoltées au Jardin expérimental, sur individus calaminaires, et mises à germer sur sol normal; plantules repiquées sur sol artificiellement enrichi	XII-68	1.000	fe.	9,3	498
<i>Armeria maritima</i>					
Individus récoltés sur sol salé des falaises maritimes de Wimereux en 1967 et transplantés sur sol normal au Jardin expérimental :					
1 an après transplantation	X-68	87	fe.	10,7	76

fe. = feuilles; inf. = inflorescences; h.p. = hampes florales; rac. = racines.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

ERNST, W.

1965. *Ökologisch-Sociologische Untersuchungen der Schwermetall-Pflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluss des Alpen.* (Abh. aus dem Landesmuseum für Naturkunde zu Münster in Westfalen, 27, 1, 1-54.)

JACQUEMART, S.

1958. *Contribution à l'écologie des haldes calaminaires. I. Colonisation d'un milieu neuf.* (Bull. Inst. roy. Sc. nat. Belg., 34, 11, 1-28.)

JAVILLIER, M.

1908. *Le zinc chez les plantes.* (Ann. de l'Inst. Pasteur, 22, 720-727.)

JENSCH, Ed.

1894. *Beiträge zur Galmeiflora von Oberschlesien.* (Zeitschrift für angewandte Chemie, 1, 14.)

MAQUINAY, A. et RAMAUT, J. L.

1960. *La teneur en zinc des plantes du *Violetum calaminariae*.* (Les naturalistes belges, 7, 265-273.)

SCHWICKERATH, M.

- 1930-1932. *Das *Violetum calaminariae* der Zinkböden in der Umgebung Aachens.* (Beiträge zur Naturdenkmalpflege, 14, 463-503.)

